

Nota técnica

BALANCE DE FÓSFORO EN FINCAS PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN SIETE CANTONES DE LA REGIÓN HUETAR NORTE Y REGIÓN CENTRAL DE COSTA RICA¹

Jorge Alberto Elizondo-Salazar^{2/*}, José Pablo Jiménez-Castro^{**}

Palabras clave: Balance de nutrientes, nutrientes, contaminación ambiental, eutrificación, nutrición animal.

Keywords: Nutrient balance, nutrients, environmental pollution, eutrophication, animal nutrition.

Recibido: 20/06/13

Aceptado: 03/09/13

RESUMEN

El objetivo fue cuantificar el aprovechamiento de P en 11 fincas lecheras, ubicadas en las provincias de San José, Cartago y Alajuela. Se utilizaron datos de compras de insumos, ventas de leche, compra y salida de animales, desde enero a diciembre del 2010. Para evaluar el aprovechamiento de P, se utilizaron 3 indicadores que permitieron analizar la eficiencia de las fincas. El número total de animales osciló entre 39 y 242. La producción promedio anual de leche fue de 300 880 kg. El área varió entre 1 y 116 ha. Las 11 fincas ingresaron en promedio 1214 (± 1036) kg de fósforo, donde 70% provenía de alimentos, 16% de fertilizantes y 14% de sales minerales. Las fincas exportaron 294 (± 219) kg de fósforo, donde 90% egresó de la finca en la leche vendida y solamente 10% en la venta de animales. El total de P que salió de las fincas, osciló entre 136 y 876 kg. Las fincas ingresaron 4,1 ($\pm 0,8$) g.kg⁻¹ P de leche producida y en general, el balance de P fue positivo para todas las fincas, lo que indica que ingresó más P del que salió en forma de producto, observándose que 65% del P importado permanece en las fincas. Las estrategias para reducir la excreción de P deben ir orientadas a reducir el P en las dietas ofrecidas, dado que la mayor proporción de estos nutrientes ingresan por medio de la alimentación.

ABSTRACT

Phosphorous balance on Costa Rican dairy farms. The objective was to quantify P use in 11 dairy farms located in the provinces of San Jose, Cartago and Alajuela. Data such as feed purchases, milk sales, purchase and removal of animals between January and December 2010 were used. In order to evaluate the use of P, three indicators that allowed analyzing farm efficiency were used. Total number of animals ranged from 39 to 242. The average annual milk production was 300 880 kg. Farm area varied between 1 and 116 ha. The 11 farms imported on the average 1214 (± 1036) kg of phosphorous: 70% came from feed, 16% from fertilizers and 14% from mineral supplements. The farms exported 294 (± 219) kg of phosphorous, of which 90% was exported in milk sold and only 10% in animals sold. Total P exported ranged between 136 and 876 kg. Farms imported 4.1 (± 0.8) g.kg⁻¹ P of milk produced. In general, P balance was positive for all farms, indicating that more P entered the farm that came out in the form of product, showing that 65% of imported P remained on the farms. Strategies to reduce P excretion should be aimed at reducing P in the diets, since the largest P input is through imported feed.

1 Proyecto 737-A9-247. Inscrito en la Vicerrectoría de Investigación. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

2 Autor para correspondencia. Correo electrónico: jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr

* Estación Experimental Alfredo Volio Mata, Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

** Escuela de Ciencias Agrarias, Facultad de la Tierra y el Mar. Universidad Nacional de Costa Rica. Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

La producción de leche en Costa Rica se ha visto incrementada durante las 3 últimas décadas; presentó incrementos de 308 millones de kilogramos en 1980 a 953 millones de kilogramos de leche en el 2011, lo que representa un aumento anual promedio de 7% (Cámara Nacional de Productores de Leche 2012). Este incremento aunado a mejoras en tecnologías y técnicas de manejo, ha requerido de la importación de alimentos balanceados, sales minerales y fertilizantes químicos a las fincas.

Dentro de esta situación, el fósforo (P) que es un elemento esencial para los animales, es utilizado de forma ineficiente; en vacas lecheras de 60 a 70% del P consumido es excretado en las heces (Dou et ál. 2002), por lo que la mayoría de P que ingresa a la finca en forma de alimento permanece en ella, en lugar de ser exportado en la leche o en animales vendidos (Beede y Davidson 1999, Knowlton y Herbein 2000). Una vez en el suelo, el P se almacena, principalmente en forma de compuestos inorgánicos con hierro, aluminio y calcio, o en formas orgánicas en microorganismos, residuos de cosecha y material en descomposición (McDowell y Condron 2001). Este elemento almacenado en el suelo, se mueve con el agua de escorrentía y la erosión hacia aguas superficiales (Van Horn et ál. 1998).

En la actualidad el fósforo se ha convertido en el principal elemento para el manejo de nutrientes en los sistemas ganaderos (Weiss y Wyatt 2004). Para proteger, preservar o aún mejorar la calidad de nuestras aguas, es importante que se limite la cantidad de fósforo que ingresa a las fincas y que eventualmente puede llegar a cuerpos acuíferos. Por otra parte, es muy difícil medir, de manera rutinaria, la cantidad de P que puede eventualmente perderse en una finca. Sin embargo, el balance de P en una finca (total de ingresos de P menos total de egresos en forma de productos) es considerado la mejor forma práctica de estimar la cantidad de P que permanece en la finca y que puede representar un riesgo potencial para el ambiente (Kohn et ál. 1997).

El balance de nutrientes en una finca lechera, es una herramienta agroambiental que permite considerar sistemas de manejo que disminuyan las pérdidas de los elementos al medio ambiente (Parris 1999, Funaki y Parris 2005). Usualmente, las entradas de P en alimentos, fertilizantes y sales minerales, son mayores que las salidas en leche, animales vendidos y cultivos (Satter 2001, VandeHaar y St-Pierre 2006). Estos excedentes tienden a incrementarse conforme se intensifica la producción e incrementa la carga animal en las fincas (Halberg et ál. 2005). Cuando el total de P importado en las fincas sobrepasa el exportado, se acumula en el suelo y podría escapar hasta llegar a contaminar los recursos hídricos.

En Costa Rica no existe ningún tipo de información científica respecto a la utilización de P en fincas lecheras, por lo que el presente trabajo tiene como objetivo cuantificar el aprovechamiento de P en algunas fincas de vocación lechera.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en 11 fincas lecheras ubicadas en los cantones de Alfaro Ruiz, Naranjo, Poás y San Carlos en la provincia de Alajuela; Goicoechea y Vásquez de Coronado en la provincia de San José y Oreamuno en la provincia de Cartago. Se utilizaron datos de compras de insumos, ventas de leche, compra y salida de animales, entre enero a diciembre del 2010. Se siguió la metodología utilizada por Spears et ál. (2003) donde todos los datos utilizados fueron con base en materia seca. Los índices de aprovechamiento de P fueron calculados con base en la metodología implementada por Koelsch y Lesoing (1999), Bouldin y Klausner (2002), y Spears et ál. (2003).

Estimación de la cantidad de fósforo importado

El P proveniente de los fertilizantes se calculó de acuerdo con las compras realizadas corregidas por el porcentaje de P_2O_5 y divididas

entre 2,29 (Bertsch 1998). El P ingresado por el alimento balanceado se calculó con base en las compras y corregidas por el porcentaje de MS y el porcentaje de P, mientras que el aporte de los suplementos minerales se obtuvo con base en las compras corregidas por el porcentaje de MS y de P.

Inicialmente se quiso considerar el tamaño de las fincas, pero se determinó que no todas contaban con información exacta y detallada del área, por lo que no fue posible relacionar el ingreso de P con respecto al área de las fincas. Por lo que para eliminar el efecto del tamaño de la finca, las entradas de P fueron expresadas con base en la producción de leche, como $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de P de leche producida (Spears et ál. 2003, Herrero et ál. 2006). Así mismo, se calculó la proporción de P que ingresó por alimentos (incluidos alimentos balanceados, subproductos agrícolas, reemplazadores lácteos y pacas de heno), fertilizantes y otros suplementos, con base en el ingreso total. Estos resultados permiten conocer la principal entrada de este nutriente a las fincas.

Estimación de la cantidad de fósforo exportado

El P exportado a través de la leche, se calculó mediante la cantidad de leche entregada a la planta industrializadora, corregida por un factor constante de 0,09% ó 0,9 gramos de P por cada kilogramo de leche producida (Knowlton y Herbein 2000, NRC 2001, Wu et ál. 2001). Para la estimación de la cantidad de P exportado a través de los animales que salen de la finca, se utilizó los valores de 0,67 y 0,68% de fósforo de acuerdo con el peso vivo para terneras y vacas, respectivamente (Pearson e Ison 1997).

Cálculo de índices de aprovechamiento de fósforo

Para evaluar el aprovechamiento de P, se utilizaron 3 indicadores:

1. Indicador de Uso de P (IUP, %) como cociente entre la cantidad de P que

permanece en la finca y el total ingresado, lo cual muestra las ineficiencias del sistema (Bouldin y Klausner 2002, Herrero et ál. 2006).

2. Indicador de Consumo de P (ICP), cociente entre la entrada y salida de P (entrada P/ salida P), que permite evaluar el número de veces que las entradas de P superan la salida (Koelsch y Lesoing 1999, Herrero et ál. 2006).
3. Eficiencia Global del Balance (EGB %), indica qué proporción del total del nutriente que ingresa a la finca, sale de la misma (salida P /entrada P x 100) (Spears et ál. 2003, Herrero et ál. 2006).

El cálculo de estos índices permite analizar la eficiencia individual de las fincas (Jarvis 1993, Dou et ál. 1998) y compararla con otros sistemas de producción (Halberg et ál. 1995, Haygarth et ál. 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características generales de las fincas evaluadas

Las fincas analizadas presentaron un amplio rango en las variables evaluadas (Cuadro 1). El número total de animales por finca osciló entre 39 y 242. La producción promedio anual de leche para las 11 fincas fue de 300 880 kg. El área de las fincas varió entre 1 y 116 ha. Los sistemas de manejo para alimentación de los animales fueron muy diversos, encontrándose pastoreo rotacional, estabulación y semiestabulación. En cuanto a los ingredientes utilizados para alimentar a los animales, se presentó también una gran variabilidad. La mayoría de las fincas suplían alimentos balanceados, pero también se encontró caña de azúcar, melaza de caña, pulpa de cítricos, pacas de heno, silopacas, maíz molido, destilados de maíz, cascarilla de soya, harina de soya, semolina de arroz, afrecho de arroz, cáscara de piña y cáscara de banano maduro.

Cuadro 1. Resumen de parámetros seleccionados para 11 fincas lecheras ubicadas en las provincias de Alajuela, San José y Cartago. Costa Rica. 2010.

Parámetro	Promedio	DE ¹	Mínimo	Máximo
Número total de vacas	67	33	30	150
Número de reemplazos	39	24	9	92
Producción de leche total kg.año ⁻¹	300880	229839	137406	907894
Producción de leche kg.vaca ⁻¹ .día ⁻¹	19	6	10	26
Área ha	26	32	1	116

¹ Desviación Estándar.

Entrada de fósforo

Respecto a la importación de P para las fincas evaluadas, el mayor ingreso se dio a través de la compra de alimentos (Figura 1). En promedio, las 11 fincas importaron 1214 (± 1036) kg de fósforo donde un 70% provenía de alimentos, un 16% de fertilizantes y un 14% de sales minerales. Es importante hacer notar que 3 de las explotaciones no utilizaron fertilizantes durante el año en estudio. Con respecto a las cantidades importadas, 569 kg de P correspondieron a la menor importación, mientras que 4179 kg correspondieron a la mayor. Diversos estudios han demostrado también que la variable que aporta la mayor cantidad de P es por el ingreso de alimentos al sistema (Spears et ál. 2003). Un

aspecto importante a considerar, es que las fincas con mayor ingreso de P, coinciden en que más del 20% de dicho elemento provenía de suplementos minerales, lo que indica que elevados niveles de este tipo de suplementos aumenta significativamente el ingreso de este nutriente.

Salida de fósforo

Cuando se consideró la cantidad de P que sale de las fincas, los datos obtenidos muestran que en general las fincas exportaron la mayor proporción de P a través de la venta de leche (Figura 2). En promedio, las 11 fincas estudiadas exportaron 294 (± 218) kg de fósforo, donde un 90% egresó de la finca en la leche vendida y solamente un 10% en la venta de animales. El total de P exportado osciló entre 136 y 876 kg.

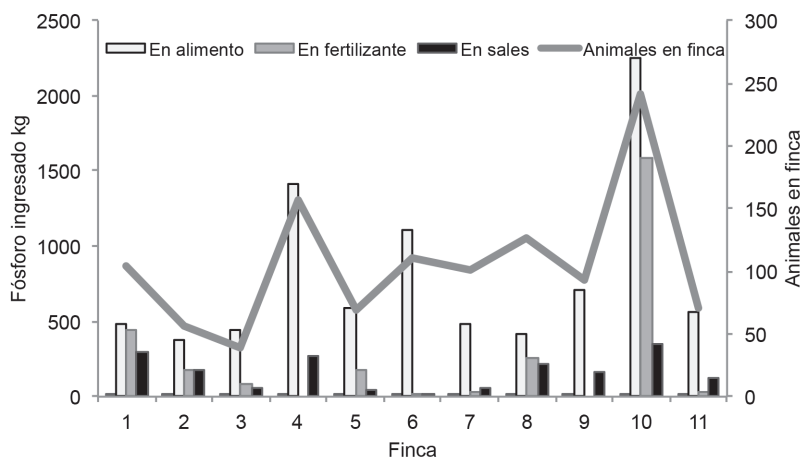


Fig. 1. Importación de fósforo (kg) para 11 fincas lecheras ubicadas en las provincias de Alajuela, San José y Cartago. Costa Rica, 2010.

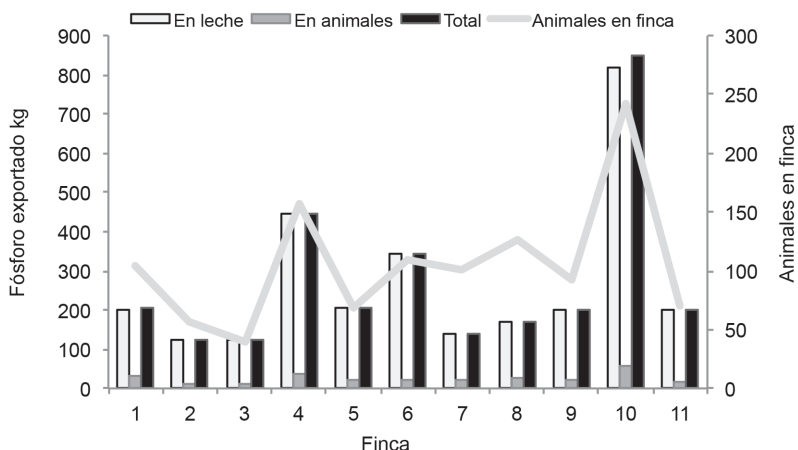


Fig. 2. Exportación de fósforo (kg) para 11 fincas lecheras ubicadas en las provincias de Alajuela, San José y Cartago. Costa Rica, 2010.

Balance de fósforo

Dada la contaminación de los recursos hídricos por los excedentes de P en las lecherías, los balances de nutrientes permiten conocer el potencial de riesgo ambiental, convirtiéndose en indicadores claves de sustentabilidad en los sistemas de producción de leche (Viglizzo et ál. 2002, Spears et ál. 2003).

El balance es la diferencia entre las entradas y las salidas esperadas (venta de leche y animales). Los sistemas ganaderos con un balance

positivo significativo, donde las entradas son mayores que las salidas, concentran nutrientes que posteriormente pueden convertirse en un riesgo para la calidad del agua. En contraste, sistemas que han alcanzado un balance, representan un sistema de producción potencialmente sustentable (Hart et ál. 1997).

Nuestros resultados muestran un balance positivo de P, lo que indica que más P ingresa a las fincas que el que sale en forma de producto (Figura 3). Una porción significativa del P que se queda en la finca (presente en las heces

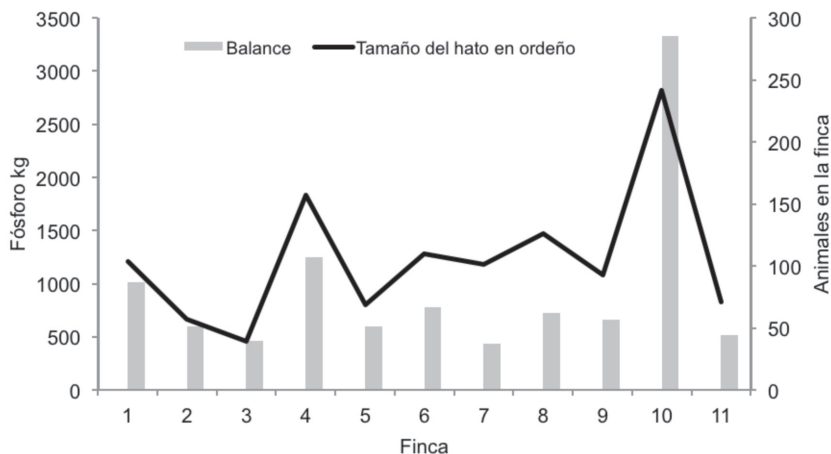


Fig. 3. Balance de fósforo (kg) para 11 fincas lecheras ubicadas en las provincias de Alajuela, San José y Cartago. Costa Rica, 2010.

principalmente) se adhiere a las partículas del suelo y puede ser transportada hacia aguas superficiales a través de la erosión y en el agua de escorrentía (Rotz 2004).

Una serie de estrategias, para aminorar las pérdidas de este nutriente a través del agua de escorrentía y erosión, se aplican cada vez más en las fincas lecheras, pero la mayor parte de los esfuerzos se han enfocado en estrategias a la hora de aplicar el estiércol en el campo, es decir, posteriormente a su excreción. Mientras que reducir el contenido de P en la dieta para minimizar su excreción es un enfoque más fundamental y rentable para reducir las pérdidas de P de la finca.

Por estas razones, las regulaciones ambientales en muchos países desarrollados han hecho que las explotaciones animales tengan que cuantificar y ajustar el balance o flujo del fósforo con el fin de minimizar la excreción de este nutriente al ambiente (OECD 2004).

Gramos de fósforo por kilogramo de leche producida

Con el objetivo de eliminar el efecto del tamaño de la finca, la entrada de P fue expresada como g.kg^{-1} de P de leche producida (Spears et ál. 2003, Herrero et ál. 2006). Los datos obtenidos indican que en promedio las fincas ingresaron $4,1 (\pm 0,8) \text{ g.kg}^{-1}$ de P de leche producida. El mayor ingreso de P se observó en la finca 1, la cual requirió de 5,5 g de P para producir un kilogramo de leche; donde los alimentos, fertilizantes y suplementos minerales aportaron el 39,1; 36,2 y 24,7%, respectivamente. Mientras que la finca 6 llegó a importar 3,0 g de P por cada kilogramo de leche producida, donde el aporte por alimentos, fertilizantes y suplementos minerales fue de 99,0; 0,9 y 0,1%, respectivamente. Ambas fincas presentan diferencias en las características de los sistemas productivos. La finca 1 se ubica a una altura de 225 msnm, con una topografía mayormente plana y sistemas de pastoreo rotacional, mientras que la finca 2 se encuentra ubicada a 2145 msnm, con características topográficas típicas de zonas altas y bajo un sistema semiestabulado de producción.

Estudios similares han encontrado que el promedio de P que ingresa a las fincas con respecto a la producción de leche es de $2,36 \text{ g.kg}^{-1}$ de P (Laws et ál. 2002), en donde el 64,34% de este nutriente ingresa a través de la alimentación. Estos resultados coinciden con los reportados por Spears et ál. (2003), quienes obtuvieron un ingreso de $2,63 \text{ g.kg}^{-1}$ de P de leche, de los cuales el 85,39% del nutriente era aportado por la alimentación y el restante 14,61% provenía de los fertilizantes, en un estudio realizado con 41 fincas lecheras. Herrero et ál. (2006) por su parte, encontraron que el ingreso de P en 17 fincas fue de $3,50 \text{ g.kg}^{-1}$ de leche, en donde el principal aporte provenía de los fertilizantes (54%), mientras que los alimentos aportaban el restante 46%. Contrariamente, García et ál. (2007) reportaron un promedio de ingreso de $8,00 \text{ g.kg}^{-1}$ de P de leche, en el cual 60,20; 39,20 y 0,60% eran aportados por alimentos, fertilizantes y otros, respectivamente, en un total de 18 fincas. Dichos resultados fueron atribuidos a la intensificación de la producción lechera en la región.

Análisis de los índices de aprovechamiento de nutrientes

Los resultados de los índices de aprovechamiento de P de las 11 fincas evaluadas, se observan en el Cuadro 2. Estos índices muestran concretamente la eficiencia o ineficiencia de la utilización de los nutrientes.

Cuadro 2. Índices de aprovechamiento (%) de P para 11 fincas lecheras ubicadas en las provincias de Alajuela, San José y Cartago. Costa Rica. 2010.

Finca	EGB, %	IUP, %	ICP, %
1	19,11	80,89	5,23
2	18,82	81,18	5,31
3	23,15	76,85	4,32
4	28,48	71,52	3,51
5	28,20	71,80	3,55
6	32,41	67,59	3,09
7	27,54	72,46	3,63
8	21,99	78,01	4,55
9	25,27	74,73	3,96
10	20,97	79,03	4,77
11	30,37	69,63	3,29
Promedio	25,12	74,88	4,11

EGB: Eficiencia global del balance.

IUP: Indicador de uso del fósforo.

ICP: Indicador de consumo de fósforo.

El primer indicador analizado fue la Eficiencia Global del Balance (EGB), el cual indica la proporción de fósforo que sale de la finca en la leche, con respecto a las entradas (Spears et ál. 2003, Herrero et ál. 2006). Valores altos en este indicador, demuestran mejores aprovechamientos de los nutrientes. El promedio anual de la EGB de P fue de 25,1% ($\pm 4,6$), con valores máximos y mínimos de 32,4 y 18,8%, respectivamente.

Si se consideran datos de diversos autores (Kuipers et ál. 1999, Domburg et ál. 2000, Laws et ál. 2002, Spears et ál. 2003, Herrero et ál. 2006 y García et ál. 2007), se obtiene un promedio de EGB de P de 31,93% ($\pm 11,6$), mayor a lo encontrado en el presente estudio, lo que indica que las fincas estudiadas por dichos autores fueron más eficientes. De forma más específica, en el trabajo realizado por Herrero et ál. (2006) donde se evaluaron 17 fincas, con un promedio 352 vacas totales cada una, bajo sistemas de producción en pastoreo y suplementación estratégica, se reportó un valor de EGB de 20,0%. En la presente investigación, donde las fincas evaluadas se encontraban bajo condiciones similares, la eficiencia fue mayor. En condiciones diferentes, García et ál. (2007) evaluaron 18 fincas lecheras, donde en el 90% de los casos, las vacas estaban estabuladas de forma permanente y en el resto las vacas se encontraban semiestabuladas y el valor de EGB para todas las fincas fue de 22,8%. Resultados muy superiores fueron obtenidos en el Reino Unido donde se reportó un valor promedio de EGB de 38,1% en 86 fincas que se caracterizaban por satisfacer sus necesidades forrajeras a base de pastoreo y ensilaje de maíz (Laws et ál. 2002).

En general, tanto los resultados obtenidos en el presente trabajo, como los realizados por otros autores, muestran un incremento en la EGB al aumentar la proporción de P en alimentos, con respecto a otras entradas como fertilizantes y suplementos minerales. Un aspecto a considerar es la siembra de cultivos forrajeros, la elaboración de ensilajes y/o heno producidos en la misma finca para autoconsumo, versus la adquisición externa de recursos que afectan la dinámica del balance.

El siguiente índice analizado fue el Indicador de Uso de P (IUP), el cual muestra las ineficiencias en el uso de los nutrientes, al representar la cantidad que permanece en las fincas (Bouldin y Klausner 2002, Herrero et ál. 2006). Los valores altos de este indicador se refieren al porcentaje de nutrientes que permanecen en las fincas y que constituyen una posible amenaza para el ambiente.

El IUP fue de 74,8% ($\pm 4,6$), con valores máximos y mínimos de 83 y 69%, respectivamente. Para las fincas evaluadas en la presente investigación, esto indica que en promedio 920 kg (± 825) de P permanecen en ellas, encontrándose un valor mínimo y máximo de 412 y 3303 kg, respectivamente.

Otras investigaciones reportan valores de IUP de 69,6% (Kuipers et ál. 1999, Domburg et ál. 2000, Laws et ál. 2002, Spears et ál. 2003, Herrero et ál. 2006 y García et ál. 2007).

Por último, el Indicador de Consumo de P (ICP), permite evaluar el número de veces que la entrada de P supera la salida del mismo (Koelsch y Lesoing 1999, Herrero et ál. 2006). Por lo tanto, valores altos de este indicador reflejan mayores ineficiencias, debido a que se requiere más insumos por unidad producida. El ICP muestra un promedio anual de 4,1 ($\pm 0,8$) con valores máximos y mínimos de 5,3 y 3,1; respectivamente.

En este sentido, por medio de los datos reportados por Kuipers et ál. (1999), Domburg et ál. (2000), Laws et ál. (2002), Spears et ál. (2003), Herrero et ál. (2006) y García et ál. (2007), se obtuvo que en promedio el ICP fue de 3,66.

El promedio de eficiencia encontrado en el presente estudio fue de 25%. Esto significa que 75% del P que ingresa a las fincas no se puede contabilizar en producto (leche y/o carne).

Estrategias para aumentar el aprovechamiento de P

La producción animal y particularmente las lecherías, están inevitablemente asociadas con la producción de residuos y en consecuencia, con algún grado de contaminación ambiental. Por lo que las estrategias para reducir la excreción de P

en las lecherías deben comenzar por mejorar la eficiencia en la utilización de P a través de los animales (Elizondo 2005).

Diversas investigaciones han determinado que la excreción fecal de P está relacionada con su consumo (Dayrell e Ivan 1989, Sanson et ál. 1990, Van Horn et ál. 1998, Spiekers et ál. 1993, Wu et ál. 2000, Weiss y Wyatt 2004, Ekelund et ál. 2006). Weiss y Wyatt (2004) por ejemplo, mostraron que la excreción fecal de P aumenta linealmente conforme el consumo de este mineral aumenta. Nuestro estudio revela que la alimentación es la principal entrada de nutrientes a las fincas, por lo que la primera estrategia para reducir la excreción de P, es eliminar el exceso de P en la dieta (Wu et ál. 2001).

La reutilización de la excreta (sólida), es un paso importante para disminuir la utilización de fertilizantes químicos, y por consecuencia, mejorar los balances de P (Herrero et ál. 2006).

CONCLUSIONES

El balance de fósforo en las 11 fincas utilizadas en el presente trabajo es similar al obtenido en otros estudios en el sentido de que el mayor ingreso de P se da principalmente a través de los alimentos y la mayor salida se da a través de la leche. El balance de nutrientes representa una herramienta importante para evaluar el manejo del fósforo en las fincas. Las estrategias para reducir la excreción de P deben ir orientadas a mejorar las dietas ofrecidas, debido a que la mayor proporción de este nutriente ingresa por medio de la alimentación.

LITERATURA CONSULTADA

- BEEDE D.K., DAVIDSON J.A. 1999. Phosphorus: Nutritional management for Y2K and beyond. Proc. Tri-State Dairy Nutr. Conf. Fort Wayne, IN. pp.50-97.
- BERTSCH F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- BOULDIN D., KLAUSNER S. 2002. Managing nutrients in manure: General principles and applications to dairy manure in New York, pp. 65-88. In J.L. HATFIELD and B.A. STEWART (ed.). Animal waste utilization: Effective use of manure as a soil resource. Lewis publishers, USA.
- CÁMARA NACIONAL DE PRODUCTORES DE LECHE 2012. Información del sector 2012. San José, Costa Rica. Consultado el 23 de marzo de 2013. Disponible en <http://www.proleche.com/index.php/component/content/article?id=76>
- DAYRELL M., IVAN M. 1989. True absorption of phosphorus in sheep fed corn silage and corn silage supplemented with dicalcium or rock phosphate. Can. J. Anim. Sci. 69:181-186.
- DOMBURG P., EDWARDS A., SINCLAIR A., CHALMERS N. 2000. Assessing nitrogen and phosphorus efficiency at farm and catchment scale using nutrient budgets. Journal of the Science of Food and Agriculture 80:1946-1952.
- DOU Z., LANYON L.E., FERGUSON J.D., KOHN R.A., BOSTON R.C., CHALUPA W. 1998. An integrated approach to managing nitrogen on dairy farms: evaluation of farm performance using the Dairy Nitrogen Planner. Agron. J. 90:573-581.
- DOU Z., KNOWLTON K.F., KOHN R.A., WU Z., SATTER L.D., ZHANG G., TOTH J.D., FERGUSON J.D. 2002. Phosphorus characteristics of dairy feces affected by diets. J. Environ. Qual. 31:2058-2065.
- ELIZONDO J. 2005. El fósforo en los sistemas ganaderos de leche. Agronomía Mesoamericana 16(2):231-238.
- EKELUND A., SPORN DLY R., HOLTENIUS K. 2006. Influence of low phosphorus intake during early lactation on apparent digestibility of phosphorus and bone metabolism in dairy cows. Livestock Sci. 99:227-236.
- FUNAKI Y., PARRIS K. 2005. The OECD agricultural nutrient balance indicators: establishing a consistent OECD set of nitrogen and phosphorus coefficients. In: European Commission Workshop-Nitrogen and Phosphorus in Livestock manure.10 p.
- GARCÍA M.I., CASTRO J., NOVOA R., BÁEZ D., LÓPEZ J. 2007. Caracterización del balance y la eficiencia en la utilización del nitrógeno, fósforo y potasio en las explotaciones de vacuno de leche en Galicia, pp. 440-446. In: XLVI Reunión Científica de la SEEP, Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo, Xunta de Galicia.
- HALBERG N., STEEN E., SILLEBAK I. 1995. Nitrogen turnover on organic and conventional mixed farms. J. Agric. Environ. Ethics. 8:30-51.
- HALBERG N., VAN DER WERF H., BASSET-MENS C., DALGAARD R., DE BOER I.J.M. 2005. Environmental assessment tools for the evaluation and improvement of European livestock production systems. Livestock Production Sci. 96:33-50.
- HART J., MARX E., CHRISTENSEN N., MOORE J. 1997. Nutrient management strategies. Journal of Dairy Science 80:2659-2666.

- HAYGARTH M., CHAPMAN P., JARVIS S., SMITH R. 1998. Phosphorus budgets for two contrasting UK grassland farming systems. *Soil Use Management* 14:160-167.
- HERRERO M.A., GIL S.B., FLORES M.C., SARDI G.M., ORLANDO A.A. 2006. Balances de nitrógeno y fósforo a escala predial, en sistemas lecheros pastoriles en Argentina. *InVet.* 8(1):9-21.
- JARVIS S. 1993. Nitrogen cycling and losses from dairy farms. *Soil Use Management* 9:99-105.
- KNOWLTON K.F., HERBEIN J.H. 2000. Phosphorus partitioning during early lactation in dairy cows fed diets varying in phosphorus content. *Journal of Dairy Science* 85:1227-1236.
- KOELSCH R., LESOING G. 1999. Nutrient balance on Nebraska livestock confinement systems. *Journal of Dairy Science* 82(2):63-71.
- KOHN R.A., DOU Z., FERGUSON J.D., BOSTON R.C. 1997. A sensitivity analysis of nitrogen losses from dairy farms. *J. Environ. Mgmt.* 50:417-428.
- KUIPERS A., MANDERSLOOT F., ZOM R. 1999. An approach to nutrient management on dairy farms. *Journal of Dairy Science* 77:84-89.
- LAWS J., SMITH K., COTTRILL B., DEWHURST R. 2002. Nitrogen and phosphorus excretion by UK dairy cows. *Institute of Grassland and Environmental Research, UK*, p. 35-38.
- McDOWELL R., CONDRON L. 2001. Influence of soil constituents on soil phosphorus sorption and desorption. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32:2531-2547.
- NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. *Natl. Acad. Sci., Washington, DC*. 381 p.
- OECD (ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT). 2004. Agriculture, trade, and environment: The dairy sector. *Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, France*. 73 p.
- PARRIS K. 1999. Environmental indicators for agriculture: overview in OECD countries, pp. 25-44. In: E.F. Brouwer and B. Crabtree. Ed. *Environmental Indicators and Agricultural Policy*. Cabi Publishing, Wallingford.
- PEARSON C., ISON R. 1997. *Agronomy of grassland systems*. 2nd edition. Cambridge University Press. United Kingdom. 197 p.
- ROTZ C. 2004. Management to reduce nitrogen losses in animal production. *J. Animal Sci.* 82:119-137.
- SANSON D.W., WALKER G.L., CLANTON D.C., ESKRIDGE K.M. 1990. Relationship between phosphorus intake and blood or fecal phosphorus in gestating cows. *J. Range Management* 43:238-241.
- SATTER L. 2001. Nutrient management in dairy production systems. In: *Proceedings Babcock Institute 3rd Technical Workshop*, p. 38-53.
- SPEARS R., YOUNG A., KOHN R. 2003. Whole-farm phosphorous balance on western dairy farms. *Journal of Dairy Science* 86:4178-4186.
- SPIEKERS H., BRINTRUP R., BALMELLI M., PFEFFER E. 1993. Influence of dry matter intake on faecal phosphorus losses in dairy cows fed rations low in phosphorus. *J. Anim. Physiol. A. Anim. Nutr.* 69:37-43.
- VAN HORN H., NEWTON G., NORDSTEDT R., FRENCH E., KIDDER G., GRAETZ D., CHAMBLISS C. 1998. Dairy manure management: Strategies for recycling nutrients to recover fertilizer value and avoid environmental pollution. *Circular 1016*. University of Florida, Cooperative Extension Service. *Institute of Food and Agricultural Sciences, U.S.A.* 29 p.
- VANDEHAAR M., ST-PIERRE N. 2006. Major advances in nutrition: relevance to the sustainability of the dairy industry. *Journal of Dairy Science* 89:1280-1291.
- VIGLIZZO E., PORDOMINGO A., CASTRO M., LÉRTORA F. 2002. La sustentabilidad ambiental del agro pampeano. *Programa Nacional de Gestión Ambiental Agropecuaria Edic. INTA*. 84 p.
- WEISS W., WYATT D. 2004. Macromineral digestion by lactating dairy cows: estimating phosphorus excretion via manure. *Journal of Dairy Science* 87:2158-2166.
- WU Z., SATTER L. 2000. Milk production and reproductive performance of dairy cows fed two concentrations of phosphorus for two years. *Journal of Dairy Science* 83:1052-1063.
- WU Z., SATTER L., BLOHOWIAK A., STAUFFACHER R., WILSON J. 2001. Milk production, estimated phosphorus excretion and bone characteristics of dairy cows fed different amounts of phosphorus for two or three years. *Journal of Dairy Science* 84:1738-1748.



